

К.А. ИВАНОВ, УкрГАЗТ (г. Харьков),
В.И. НОСКОВ канд. техн. наук, ОАО НИИ "Преобразователь"
(г. Запорожье)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЛОКОМОТИВОВ

У статті запропоновані принципи застосування різних методів комплексної оцінки тягових електропередач автономних локомотивів.

The authors propose principles of using various methods of complex value for traction electrotransmission of autonomous locomotives.

Постановка проблемы. Стратегической целью государственной политики в развитии железнодорожного транспорта является создание отечественного конкурентно способного подвижного состава. Государственной программой "Развитие рельсового подвижного состава социального назначения для железнодорожного транспорта и городского хозяйства", предусмотрено производство современных магистральных грузовых, пассажирских и маневровых локомотивов, дизель-поездов и электропоездов. Кроме того, Кабинет Министров Украины утвердил концепцию Государственной целевой программы внедрения на железных дорогах скоростного движения пассажирских поездов до 200 км/ч, сокращения длительность пребывания пассажиров в пути с 6 – 10 до 3 – 5 часов, увеличения заполняемости пассажирских вагонов в 1,5 – 1,8 раза.

При реализации Государственной программы на этапе проектирования автономных локомотивов приходится решать ряд вопросов, связанных с выбором параметров электропередач, силового агрегата (дизель-генератор), элементов механической части привода (редуктора), определения характеристик и количества тяговых двигателей (ТД) и ряда других компонент. Как следует из [1 – 3] для проведения сравнительных исследований статических и динамических характеристик проектируемых электропередач локомотивов используются методы недостаточно наглядные и недостаточно полно описывающие показатели электропередач. Использование прикладных программ моделирования непрерывных систем существенно расширяет возможности исследования [4, 5].

Анализ литературы. При сравнительных исследованиях локомотивов с различными электропередачами возникает ряд вопросов, связанных с комплексной оценкой их характеристик, а также моделированием всех компонент электропередачи: тягового генератора, выпрямителя, преобразователя частоты (для электропередач с асинхронными ТД), ТД, элементов механической части привода и нагрузки.

Вопросам сравнительных оценок и исследований тяговых электропередач, разработки математических моделей посвящено большое

число публикаций [6, 7]. Однако предлагаемые методы исследований не дают достаточно объективной характеристики электропередач, а математические модели довольно сложны и требуют значительных затрат машинного времени для проведения многовариантных исследований. В работе [8] представлена универсальная модель дизель-поезда, позволяющая проводить исследования различных типов электропередач.

Целью статьи является разработка методов комплексной оценки тяговых электропередач автономных локомотивов в статических и динамических режимах, которые позволят на этапе проектирования сделать правильный выбор типа электропередачи и определить требования к её компонентам.

Реализация разработки методов комплексной оценки тяговых электропередач локомотивов. Тяговая электропередача (ЭП) осуществляет преобразование механической энергии дизеля в механическую энергию движения автономного локомотива. Предельная тяговая характеристика $F = f(V)$ приведена на рис. 1; определяется назначением локомотива: грузовой, пассажирский, маневровый и др.

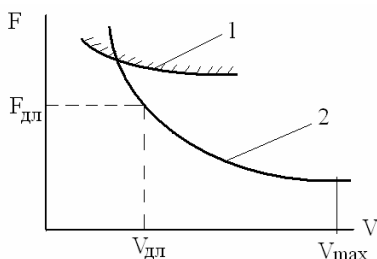


Рис. 1. Предельная тяговая характеристика локомотива
 F – тяговое усилие, V – скорость движения

Тяговая характеристика содержит несколько участков: зона пуска (1) и зона постоянной мощности (2) с ограничением максимальной скорости. Тяговое усилие в зоне пуска, как правило, ограничивается сцеплением колеса с рельсом. Для электропередач с коллекторными тяговыми двигателями серийного возбуждения, согласно правилам производства тяговых расчетов (ППТР), коэффициент сцепления ψ определяется зависимостью:

$$\psi = 0,25 + \frac{8}{100 + V}. \quad (1)$$

Тяговое усилие в этой зоне определяется как

$$F = \psi \cdot G, \quad (2)$$

где G – масса локомотива.

Использование электропередач с асинхронными ТД позволяет повысить, примерно, в 1,3 раза коэффициент сцепления в этой зоне. Кроме того, существуют схемные решения, позволяющие поднять коэффициент сцепления для электропередач с двигателями постоянного тока, например, поосное регулирование тяги [9].

Зона постоянства мощности имеет свое начало – от зоны пуска, и конец – на максимальной скорости локомотива. Расширение скоростного диапазона за счет снижения мощности электропередачи недопустимо.

В этой зоне тяговое усилие определяется формулой

$$F = \frac{P}{V}, \quad (3)$$

где P – мощность дизеля.

Аналогичным образом характеризуются свойства локомотива в режиме электрического торможения, когда механическая энергия движения поезда через электропередачу гасится на тормозных резисторах.

Характеристика электрического тормоза локомотива $B = f(V)$ приведена на рис. 2.

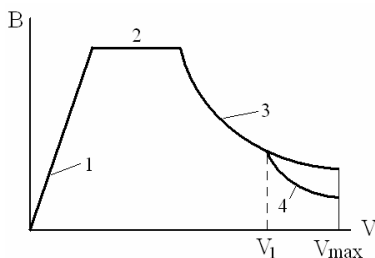


Рис. 2. Предельная тормозная характеристика.
 B – тормозное усилие

Тормозная характеристика также содержит несколько участков, которые определяются, в основном, возможностями электропередачи. Участок 1 – ограничение магнитного потока тяговых двигателей, 2 – ограничение тормозного усилия, 3 – ограничение тормозной мощности, 4 – ограничение по коммутации (для тяговых двигателей постоянного тока). Обычно $V_1 = (0,7 - 0,8)V_{\max}$, при этом тормозная мощность снижается в соответствии с выражением: $\frac{P_T}{V} = const$.

Для сравнения тяговых электропередач используются следующие показатели.

Установленная мощность электрооборудования может быть оценена как отношение произведения значений пусковой тяги на максимальную скорость локомотива, к мощности дизеля ($k_{\text{пр}}$).

Поскольку тяговое усилие локомотива определяет токи в элементах электропередачи, а максимальная скорость – напряжение, этот показатель в определенной степени характеризует и электрическую мощность, заложенную в электрооборудование. Связь между электрическими и механическими характеристиками локомотива осуществляется через параметры механической части привода (передаточное отношение редуктора и диаметр колеса).

Изменяя эти параметры можно смещать электрические характеристики электропередачи относительно механических в нужном направлении.

Продолжительная мощность электрооборудования оценивается как отношение произведения значений продолжительной тяги на максимальную скорость, к мощности дизеля ($k_{\text{рлл}}$). Этот показатель характеризует область, в которой локомотив может работать длительно. Здесь следует отметить, что есть электропередачи (например, с асинхронными тяговыми двигателями), у которых длительная тяга равна пусковой.

Коэффициент полезного действия электропередачи. Этот важный показатель не всегда приводится, особенно для зарубежных локомотивов. Поэтому сравнение электропередач по данному коэффициенту практически выполнить невозможно.

В данной работе предлагается проводить оценку электропередач локомотивов по интегральному показателю мощности. Интегральный показатель мощности представляет собой отношение площади тяговой характеристики к мощности дизеля:

$$k_{pu} = \frac{1}{P_{\text{д}}} \int_0^{V_{\text{max}}} F \cdot dV. \quad (4)$$

Этот показатель является наиболее универсальным, так как включает в себя данные по к.п.д. (в том числе и электропередачи), тяговые и скоростные характеристики локомотива.

Для сравнительной оценки электропередач в режиме электрического торможения можно использовать тот же интегральный показатель, только вместо тягового усилия для расчетов следует брать тормозное усилие:

$$k_{pu} = \frac{1}{P_{\text{д}}} \int_0^{V_{\text{max}}} B dV. \quad (5)$$

По имеющимся в литературе данным было выполнено сравнение тепловозных электропередач, выполненных на базе коллекторных ТД и асинхронных в статических режимах. В режиме тяги $k_{\text{пр}}$ асинхронной электропередачи с асинхронными ТД выше на 15%, чем электропередачи с коллекторными ТД; в режиме тормоза $k_{\text{пр}}$ электропередачи с асинхронными ТД выше на 40%, чем электропередачи с коллекторными ТД.

Для оценки динамических характеристик электропередачи авторами предлагается проводить её исследования на разработанной модели поезда. Структурная схема модели приведена на рис. 3. Она состоит из следующих элементов: блока вычисления момента тяги состава M_T ; блока вычисления момента сопротивления движению M_C ; блока вычисления коэффициента K ; блока интегрирования (оператор $1/p$). Коэффициент K определяется как:

$$K = \frac{3,6}{mR_K}, \text{ где } m - \text{масса груженого состава, } R_K - \text{радиус колеса.}$$

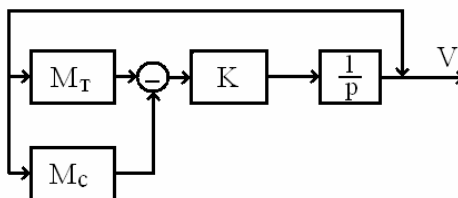


Рис. 3. Структурная схема модели

Приведенная модель позволяет оценить тяговые свойства электропередач и выполнить их сравнение на этапе проектирования.

На данной модели были проведены исследования динамических характеристик дизель-поезда с различными типами тяговых электропередач: с асинхронными ТД и с коллекторными ТД. Были получены скоростные характеристики и характеристики ускорения, реальность характеристик была подтверждена результатами испытаний дизель-поезда ДЭЛ-02.

Выводы: На основании проведенных исследований установлено следующее:

1. Наиболее универсальным показателем сравнения электропередач локомотивов в статических режимах является интегральный показатель мощности (k_{pi}), который представляет собой отношение площади тяговой (тормозной) характеристики к мощности дизеля.
2. Для объективной оценки динамических характеристик электропередач предлагается проводить их исследования на разработанной модели поезда.

Список литературы: 1. Перспективы и проблемы внедрения асинхронного электропривода на тепловозах / В.И. Носков, В.С. Марченко, Г.А. Михневич и др. // Сб. науч. трудов НИИ завода "Электротяжмаш" и МЭТП. Вып. 1. – 1989. – С. 40–44. 2. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов / А.Д. Степанов и др. – М.: Транспорт, 1982. – 254 с. 3. Носков В.И., Шника Н.И., Яровой Г.И. О создании тяговых асинхронных электроприводов в НПО "Электротяжмаш" // Новини енергетики. – 2001. – №9. – С. 86–88. 4. Дьянков В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с. 5. Даниленко А.Ф., Дмитриенко В.Д., Заполоский Н.И. Математические модели оптимальных систем управления тяговым асинхронным приводом тепловозов // Электронное моделирование. – 1991. – Т. 13. – № 2. – С. 40–44.

6. *Верлань А.Ф., Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Шорох В.А.* Эволюционные методы компьютерного моделирования. – Киев: Наукова думка, 1991. – 256 с. 7. *Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю.* Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003 – 248 с. 8. *Носков В.И.* Исследование с помощью математических моделей тяговых асинхронных электроприводов скоростных поездов // Коммунальное хозяйство городов. – 2006. – № 72. – С. 288–298. 9. *Шапран Е.Н.* Совершенствование микропроцессорных систем управления тепловозов с высоким использованием сил сцепления // Вестник НТУ "ХПИ". Сборник научных трудов. Тем. вып. "Информатика и моделирование". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2006. – № 23. – С. 145–154.

Поступила в редакцию 30.09.2007